



# Routage multi-flots economie en energie dans les reseaux de capteurs et actionneurs

Nicolas Gouvy, Essia Hamouda, Nathalie Mitton, Dimitrios Zorbas

## ► To cite this version:

Nicolas Gouvy, Essia Hamouda, Nathalie Mitton, Dimitrios Zorbas. Routage multi-flots economie en energie dans les reseaux de capteurs et actionneurs. 15èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel), May 2013, Pornic, France. pp.1-4. hal-00818140

**HAL Id: hal-00818140**

**<https://hal.science/hal-00818140>**

Submitted on 26 Apr 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# *Routage multi-flots économe en énergie dans les réseaux de capteurs et actionneurs<sup>†</sup>*

N. Gouvvy<sup>1,2</sup> and E. Hamouda<sup>3</sup> and N. Mitton<sup>2</sup> and D. Zorbas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIFL, Université Lille 1 <sup>2</sup>Inria Lille Nord Europe <sup>3</sup>Université de Californie

---

L'introduction d'actionneurs capables de se déplacer sur ordre dans les réseaux de capteurs a permis l'émergence d'un nouveau genre de protocoles de routage. Ceux-ci tirent parti de cette nouvelle possibilité de relocaliser les éléments du réseau pour adapter dynamiquement sa topologie au trafic. Ils vont ainsi faire se déplacer physiquement les nœuds au fur et à mesure du routage afin d'optimiser le coût des transmissions radio. Toutefois, dans les réseaux de capteurs, il y a souvent plusieurs nœuds géographiquement proches pour reporter un même événement à la station de base. Les messages routés empruntent alors différents chemins qui sont physiquement proches, et certains nœuds appartiennent à plusieurs d'entre eux. Ces derniers vont alors sans cesse devoir se relocaliser sur les différents chemins et donc mourir prématurément. En réponse à ce problème, nous proposons PAMAL, le premier protocole de routage qui optimise la topologie réseau et sait tirer avantage des intersections des chemins de routage de manière complètement locale. PAMAL va ainsi provoquer la fusion des chemins de routage qui se croisent, et ce de plus en plus près des sources au cours et du temps. Les résultats de simulations montrent que ce comportement associé à un mécanisme d'agrégation permet d'améliorer la durée de vie du réseau de 37 %.

**Keywords:** routage, mobilité contrôlée, intersections, agrégation, réseaux de capteurs

---

## 1 Introduction

Les avancées de l'électronique et des technologies radio basse-consommation ont rendu possible l'émergence des réseaux de capteurs sans fil. Ces réseaux sont constitués d'un ensemble de capteurs alimentés par batterie qui collaborent via le médium radio. L'importance de leurs applications (surveillance de feu de forêt, de champs de bataille...) rend crucial un fonctionnement de ce réseau le plus durable possible. L'approche la plus courante est alors d'augmenter la densité en capteurs, ceci afin de diminuer le coût énergétique des communications. Mais l'augmentation de densité provoque une augmentation des interférences. Une approche plus récente –et présentant de meilleures performances [WSC08]– consiste à déployer des actionneurs, c'est-à-dire des capteurs à mobilité contrôlée, que l'on peut physiquement redéployer. Il n'existe cependant qu'une poignée de protocoles de routage tirant parti des actionneurs et leur principe est toujours similaire : aligner les nœuds sur la droite virtuelle formée par le nœud source  $S$  et la destination  $D$ . Cette approche est inadaptée aux réseaux de capteurs où il existe une forte probabilité qu'un même événement soit détecté simultanément par plusieurs capteurs proches. Ceux-ci vont alors émettre des données à router vers une station de base. Ces capteurs sources sont donc physiquement proches, et leurs chemins de routage le sont eux aussi d'autant plus qu'on se rapproche de l'unique station de base. Dès lors, certains nœuds du réseau appartiennent à plusieurs de ces chemins de routage. Ces nœuds d'intersection  $IN$  vont sans cesse être physiquement relocalisés sur chacun des chemins de routage  $S_i \dots D$  et mourir prématurément. C'est pourquoi nous proposons PAMAL (PAth Merging ALgorithm). PAMAL est un protocole de routage géographique pour actionneurs qui optimise la topologie du réseau en optimisant la position des nœuds des différents de chemin de routage. Mais PAMAL va aussi détecter et tirer parti de ces intersections des chemins de routage. PAMAL va faire stopper les oscillations des Nœuds d'Intersections ( $IN$ ). Ces  $IN$  vont alors ordonner à leurs voisins de les considérer comme une destination temporaire. Cela va alors modifier les relocalisations des nœuds situés en amont des  $IN$ . PAMAL va dès lors provoquer la fusion deux à deux

---

<sup>†</sup>Ce travail est partiellement financé par le CPER NPDC/FEDER Campus Intelligence Ambiante et l'ANR BinThatThinks

des différents chemins de routage qui s'entrecroisent, et ce de plus en plus loin de la destination. C'est cette partie fusionnée, sur laquelle une agrégation des paquets est réalisée, qui va permettre d'économiser l'énergie.

L'article est organisé comme suit : la section 2 décrit le protocole CoMNet que PAMAL étend. Dans la section 3 nous détaillons la gestion des intersections faite par PAMAL. Les résultats de simulation de PAMAL sont détaillés dans la section 4. Enfin nous concluons dans la section 5.

## 2 Prérequis

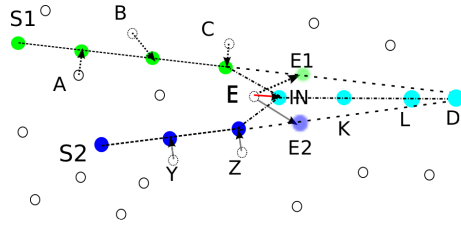
PAMAL est une extension du protocole CoMNet [EMSR11]. Ce dernier est un protocole de routage géographique pour réseau de capteurs et actionneurs ayant une approche coûts sur progrès [KNS06] qui optimise la topologie du réseau en relocalisant les nœuds sur les chemins de routage. Ainsi, un nœud  $U$  ayant un paquet à router jusqu'au nœud  $D$  choisit comme prochain saut son voisin  $V$  -plus proche de  $D$  que lui-même- qui minimise le ratio du coût global sur le progrès effectué vers la destination. On entend par coût global la somme des coûts de transmission  $C_s(\cdot)$  et de relocalisation de  $V$  en  $V'$  noté  $C_m(|VV'|)$ . Autrement dit est élu le voisin  $V$  de  $U$  qui minimise l'équation suivante :

$$v = \min \frac{C_s(|UV|) + C_m(|VV'|)}{|UD| - |V'D|}$$

CoMNet intègre plusieurs schémas de relocalisation des nœuds pour s'adapter aux différents cas possibles :

- *CoMNet – ORouting on the Move* aligne les nœuds sur la droite virtuelle (SD).
- *CoMNet – Move<sub>(DSr)</sub>* aligne les nœuds sur la droite (SD) tout en les espaçant de façon égale.
- *CoMNet – Move<sub>r</sub>* selon lequel  $V$  est relocalisé à l'intersection entre la droite formée par (VD) et le cercle centré en  $U$  et de rayon fixé.

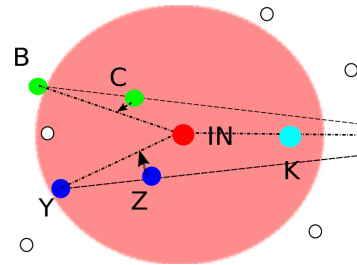
## 3 PAMAL



**FIGURE 1:** Intersection des chemins  $S1...D$  et  $S2...D$  en  $E$ . Apparition d'un  $IN$  qui se relocalise et agrège les paquets.

Dans PAMAL, quand un nœud détecte qu'il reçoit des paquets d'origines différentes (et de même destination), il devient un  $IN$ . Il va alors arrêter d'osciller et commencer à agréger les paquets des deux chemins. Ainsi, dans la figure 1 le nœud  $E$  reçoit des paquets provenant des chemins  $S1...D$  et  $S2...D$ . Le nœud  $C$ , qui appartient au chemin  $S1...D$ , demande à  $E$  de se relocaliser en  $E1$ . Et  $Z$ , qui appartient à  $S2...D$ , lui demande d'aller en  $E2$ .  $E$  va alors devenir un  $IN$ . Il va se relocaliser en l'isobarycentre de  $E1$ ,  $E2$ ,  $E$  et y rester. Les paquets routés sur la partie commune aux deux chemins  $IN...D$  sont agrégés.

Une fois arrivé en sa nouvelle position, l' $IN$  avertit son voisinage de son existence et de sa position. Tous les nœuds qui reçoivent ce message sont alors informés qu'ils doivent router tout paquet venant de  $S1$  ou  $S2$  vers  $D$ , ils doivent le faire passer par l' $IN$ . L' $IN$  remplace donc la destination  $D$  dans leurs schémas de relocalisation. La figure 2 propose un agrandissement de la figure 1. Le nœud  $E$  est devenu  $IN$  et s'est relocalisé. Il en avertit ses voisins. L'apparition de l' $IN$  va alors provoquer une relocalisation de  $C$  sur la droite ( $B IN$ ) et non plus sur ( $S1 IN$ ), et une relocalisation de  $Z$  sur ( $Y IN$ ) au lieu de ( $S2 IN$ ) et faire fusionner les chemins de routage  $S1...D$  et  $S2...D$ .



**FIGURE 2:** L'apparition de l' $IN$  modifie les calculs des schémas de relocalisations

L'*IN* remplaçant -localement- la destination, il va provoquer une fusion des chemins de routage en amont de sa position. Cette fusion peut permettre l'émergence d'un autre *IN* pour les mêmes sources/destination encore plus en amont. Dans cette hypothèse, l'ancien *IN*, qui recevrait alors des paquets déjà agrégés, avertit son voisinage qu'il n'est plus un *IN* et reprend un comportement standard. Routage après routage, la partie fusionnée des chemins de routage s'agrandit. Le comportement d'un nœud qui reçoit un paquet est détaillé dans l'Algorithme 1.

---

**Algorithm 1** onDataPacketReceive(p) - Exécuté par un nœud *U*

---

```

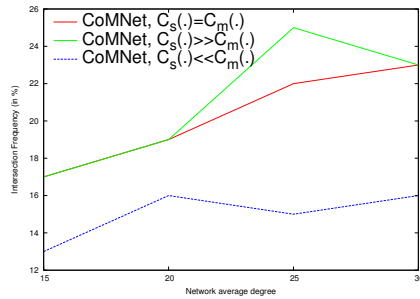
1: originePaquetPrecedent {initialisé au démarrage à -1}
2: if estUnIN(U) then
3:   if estAggrege(p) then
4:     redevientStandard(U);
5:   end if
6: else if originePaquetPrecedent = -1 then
7:   originePaquetPrecedent ← origine(p);
8: else if origin(p) ≠ previousOrigin then
9:   démarreAggregation(U);
10:  devientIN(U);
11: end if
12: transmet(p);

```

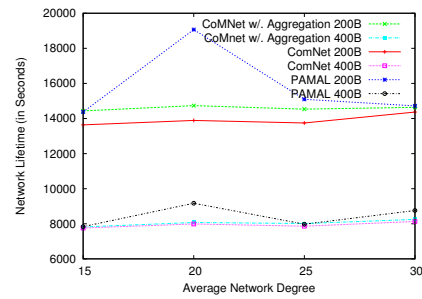
---

## 4 Résultats

Nous évaluons les performances de PAMAL comparées à CoMNet, le protocole de routage pour actionneurs le plus efficace à notre connaissance. Les résultats présentés sont la moyenne de 25 simulations, réalisées sur le simulateur WSNET<sup>‡</sup>, pour des densités en capteurs allant de 15 à 30. On appelle densité d'un réseau le nombre moyen de voisins d'un nœud du réseau. Les topologies sont des carrés de 500x500m avec des nœuds uniformément et aléatoirement répartis, les paquets sont de taille 200 ou 400 octets avec un entête de 40 octets. Le facteur d'agrégation a été fixé à 1 pour 2. Tous les capteurs sont des actionneurs capables de se déplacer.



**FIGURE 3:** Fréquence d'intersection de chemins avec deux sources et une destination aléatoires.



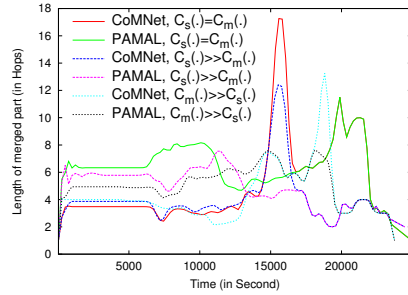
**FIGURE 4:** Durée de vie du réseau.

La figure 3 montre que la fréquence d'intersection de deux chemins de routage formés par deux sources et une unique destination toutes aléatoirement choisies selon la densité des topologies selon l'importance relative des coûts de transmission  $C_s(.)$  ou de relocalisation  $C_m(.)$ . Les résultats confirment l'intérêt de PAMAL avec jusqu'à 25% des topologies (aléatoires) présentant des intersections. Dans la figure 4 on peut observer la durée de vie moyenne du réseau en fonction de sa densité, de la taille des paquets routés et du protocole employé. On appelle durée de vie moyenne du réseau la moyenne des dates maximales de réception par la destination d'un paquet pour chacune des sources. Si on observe un léger gain grâce à l'utilisation de l'agrégation (CoMnet vs CoMNet w/. aggregation), on constate un gain allant jusqu'à 37% en utilisant PAMAL au lieu de CoMNet : le mécanisme de fusion de chemins permet une économie d'énergie significative qui permet au réseau de fonctionner plus longtemps. Le gain est maximum est quand

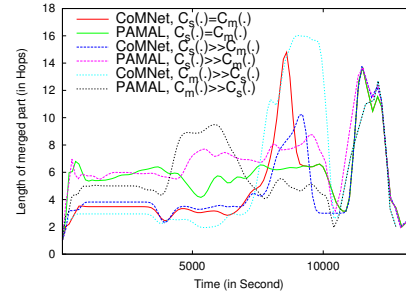
---

<sup>‡</sup>. <http://wsnet.gforge.inria.fr>

la densité est égale à 20 : il y a alors assez de nœuds pour permettre aux actionneurs de bouger sans que leurs déplacements déconnectent le réseau, mais pas trop de chemins possibles.



**FIGURE 5:** Longueur de chemin fusionnée, densité 15, taille des paquets routés 200 octets



**FIGURE 6:** Longueur de chemin fusionnée, densité 15, taille des paquets routés 400 octets

Cette fusion des chemins au fur et à mesure des routages est confirmée par les figures 5 et 6. Plus précisément, on observe que la longueur du chemin commun augmente plus rapidement avec PAMAL que CoMNet et reste significativement plus longue grâce au principe des *IN*, et quelle que soit la densité, ou la taille des paquets. Quand les nœuds commencent à mourir, cette partie fusionnée tend à se réduire avec CoMNet alors qu'elle réaugmente dans PAMAL une fois que la détection d'un *IN* a eu lieu.

## 5 Conclusions

Dans ce papier nous avons introduit PAMAL. PAMAL est un protocole de routage pour réseau de capteurs et actionneurs qui tire parti de la mobilité contrôlée des actionneurs pour optimiser la topologie du réseau d'un point de vue énergétique. Grâce à l'intégration d'un mécanisme de détection des intersections, il permet de mettre un terme aux oscillations des nœuds appartenant à plusieurs chemins de routage qui visent une même destination. Il provoque ensuite la fusion de ces différents chemins, la longueur fusionnée allant croissant au cours du temps, tout en y réalisant une agrégation de paquets. De plus, PAMAL reste purement local, et donc adapté à de multiples topologies réseau. Nos résultats montrent que PAMAL améliore significativement la durée de vie du réseau. En effet, la durée de vie moyenne d'un réseau de capteurs avec deux sources émettant vers une même destination augmente de 37% grâce à la gestion des intersections. Les résultats confirment une fusion des chemins de routage, la partie fusionnée étant de plus en plus longue au fur et à mesure des routages. C'est une amélioration significative par rapport aux protocoles existants. Nos futurs travaux se concentreront sur l'augmentation du taux de livraison des protocoles de routage dans les réseaux d'actionneurs.

## Références

- [CSR04] J. Carle and D. Simplot-Ryl. Energy-efficient area monitoring for sensor networks. *Computer*, 37(2), 2004.
- [EMSR11] E. Hamouda Elhafi, N. Mitton, and D. Simplot-Ryl. Energy efficient mobile routing in actuator and sensor networks with connectivity preservation. In *ADHOC-NOW*, 2011.
- [KNS06] J. Kuruvila, A. Nayak, and I. Stojmenovic. Progress and location based localized power aware routing for ad hoc sensor wireless networks. *Int. Journal on Distributed Sensor Networks*, (IJDSN), 2, 2006.
- [WSC08] W. Wei, V. Srinivasan, and K-C. Chua. Extending the lifetime of wireless sensor networks through mobile relays. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 16(5), 2008.